

Variación de las tasas de sedimentación en el Complejo Detrítico Superior del Delta del Llobregat (Barcelona): su relación con causas eustáticas, climáticas y antrópicas

Variations in sedimentation rates, Llobregat Delta (Barcelona): comparisons with eustatic, climatic and antropic records

D. Gàmez ⁽¹⁾, J.A. Simó ⁽²⁾, E. Vázquez-Suñé ⁽¹⁾, J.M. Salvany ⁽¹⁾ y J. Carrera ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Geomodels-Departament d' Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) Jordi Girona 1-3 Ed. D-2, Planta baixa. E-08034 Barcelona. desire.gomez@upc.edu

⁽²⁾ ICREA, Geomodels-Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica, UPC, 08034, Barcelona y Department of Geology and Geophysics, University of Wisconsin (Madison, USA).

ABSTRACT

Sediment accumulation rates have been calculated for the Llobregat Delta and compared to eustasy, climate and land use. Radiometric ages show slow (less than 1 mm/yr) sediment accumulations between 12180±60 BP (14565±715 cal BP) and ~4100 BP (4500 cal BP) and faster rates (12 to 25 mm/yr) younger than ~4100 BP (4500 cal BP). Within this trend of increasing sediment accumulation rates are two peaks of high sediment accumulation; one occurring during the Visigoth period (VI-VIII century) to Upper Medieval Age (X-XIV century) and the second during the economic recuperation (XVIII century). The initial slow sediment accumulation rate is attributed to high rates of accommodation produced by the rapid Holocene transgression and little sediment supply. Following a slower rate of creation of accommodation space, sediment started to accumulate at the mouth of the river and prograde on the shallow shelf. The pulses in sediment accumulation coincide with and are interpreted to increasing pressure anthropomorphic activity together with peaks of aridity.

Key words: *Llobregat Delta, Holocene, sediment supply, eustatic changes, climatic change, geoarcheology*

*Geogaceta, 38 (2005), 175-178
ISSN: 0213683X*

Introducción

El Delta del Llobregat se localiza al sur de la ciudad de Barcelona (Fig. 1). Este Delta, con una extensión de 97 km², está limitado al Norte por la Sierra de Collserola, al Noreste por la montaña de Montjuïc y al Suroeste por el Macizo del Garraf. Desde un punto de vista sedimentológico está formado por dos Complejos Detríticos (Marqués, 1984; Simó *et al.*, 2005, este mismo volumen): el Complejo Detrítico Inferior (CDI) de edad pleistocena y el Complejo Detrítico Superior (CDS) que se depositó a partir del último máximo glacial.

La línea de costa del delta ha podido ser reconstruida desde el siglo II BC hasta la actualidad a partir del estudio de restos arqueológicos, del análisis de la estructuración y evolución del territorio en relación con cambios paisajísticos (Palet *et al.*, 1994), y de la elaboración de diversos mapas históricos (Marqués, 1984). Por otro lado, diversos estudios paisajísticos y arqueológicos han descrito la evolución de la vegetación del delta relacionándola con cambios climáticos y presiones antrópicas (Riera, 1994a, b; Riera *et al.*, 1994, 2004; Palet *et al.*, 1994). Estos estudios han ayudado a entender mejor la evolución histórica del Delta del Llobregat. Sin embargo, la correlación de su

evolución sedimentológica con cambios del nivel del mar, el clima y la ocupación humana ha sido hasta ahora inviable debido a las escasas dataciones disponibles.

evolució sedimentològica con canbigs del nivell del mar, el clima i la ocupació humana ha sigut fins ara inviable degut a les escasses datacions disponibles.

Sondeo	Material datado	Profundidad (m)	Profundidad respecto al nivel del mar (m)	13/12C (o/oo)	Radiocarbono Convencional (*)	Cal. (BP) ⁽¹⁾	Edad Calendario (BC/AD) ⁽²⁾	Cal. (BP) media ⁽³⁾
depuradora	m. carbonizado ⁽¹⁾	4.20	-1.90	-25.9	190±70	430-0	1520-1950 AD	215±215
depuradora	madera ⁽¹⁾	9.6	-7.30	-25.9	420±50	530-320	1420-1630 AD	425±105
depuradora	turba ⁽¹⁾	17.7	-15.40	-26.4	1180±70	1270-950	680-1000 AD	1110±160
depuradora	fibras vegetales ⁽¹⁾	28.95	-26.65	-25.3	1250±40	1270-1070	680-880 AD	1170±100
FOC	turba ⁽¹⁾	6.6	0.2	-26.9	1270±60	1300-1060	650-890 AD	1180±120
FOC	turba ⁽¹⁾	7.7	-0.9	-27.7	1270±60	1300-1060	650-890 AD	1180±120
FOC	turba ⁽¹⁾	9.5	-2.7	-29.2	1490±50	1510-1300	440-650 AD	1405±105
FOC	s.orgánico ⁽²⁾	11.6	-4.8	-26.9	2500±40	2740-2370	790-420 BC	2555±185
depuradora	m. carbonizado ⁽²⁾	38.5	-36.20	-26.0	2540±50	2760-2460	810-520 BC	2610±150
depuradora	madera ⁽²⁾	51.8	-49.50	-28.1	3510±50	3900-3650	1950-1700 BC	3775±125
acropuerto	bivalvo ⁽²⁾	49.11	-47.81	0.7	5650±50	6170-5920	4220-3970BC	6045±125
FOC	bivalvo ⁽²⁾	18.3	-11.5	-0.2	5710±40	6200-5990	4250-4040 BC	6095±105
depuradora	s. orgánico ⁽¹⁾	56.4	-54.10	-26.2	5970±70	6980-6650	5030-4700 BC	6815±165
FON	turba ⁽¹⁾	18	-9.2	-27.2	7310±60	8200-7980	6250-6030 BC	8090±110
FON	s.o. orgánico ⁽¹⁾	13.27	-4.47	-24.4	7370±70	8350-8010	6400-6060 BC	8180±170
acropuerto	s.o. orgánico ⁽²⁾	54.86	-53.56	-26.3	12180±60	15280-13850	13330-11900 BC	14565±715
FON	s.o. orgánico ⁽²⁾	28.7	-19.9	-23.7	20020±90			
acropuerto	bivalvos ⁽²⁾	63.18	-61.88	-0.7	>44720			
acropuerto	ostreido ⁽²⁾	78.64	-77.34	-1.8	>42880			

Tabla I.- Dataciones con ¹⁴C realizadas en muestras del Delta del Llobregat. Cal: edad calibrada; BP: antes del presente; BC: antes de Cristo; AD: después de Cristo; ⁽¹⁾ datación radiométrica ¹⁴C; ⁽²⁾ datación con AMS ¹⁴C; ⁽³⁾ Valor calibrado con el programa INTCAL 98 (Stuvier *et al.*, 1998); (*) Efecto reservorio local corregido.

Table I.- Database of ¹⁴C dates from samples from the Llobregat Delta. Cal: Calibrate year; BP: Before present; BC: Before Christ; AD: After Christ; ⁽¹⁾ ¹⁴C radiocarbon dates; ⁽²⁾ ¹⁴C AMS dates; ⁽³⁾ Calibrated value with INTCAL 98 software (Stuvier *et al.*, 1998); (*) corrected for local reservoir effect.

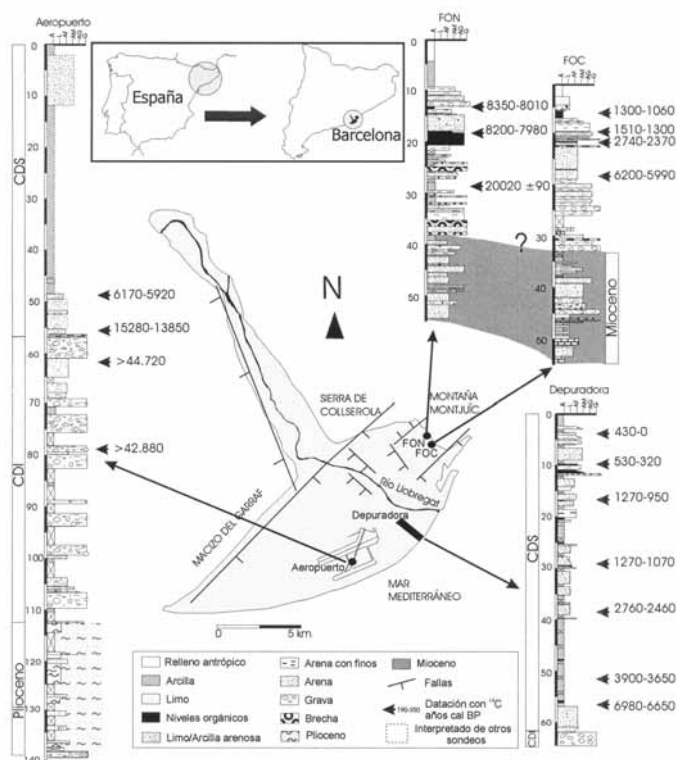


Fig. 1.- Mapa de situación del Delta del Llobregat, incluyendo las fallas principales que afectan a los materiales precuaternarios y cuaternarios. También se localizan las muestras datadas en las columnas estratigráficas de los sondeos, y el valor de las dataciones con ¹⁴C (años calibrados BP). La columna «depuradora» es una síntesis de las columnas ubicadas en la depuradora del Prat del Llobregat.

Fig. 1.- Location map of Llobregat Delta including the main faults affecting prequaternary and quaternary sediments. The stratigraphic logs show the ¹⁴C dates samples (years calibrate BP) obtained. The «depuradora» log is a synthesis of logs available from the Prat del Llobregat depuradora, a 1/2 km² area.

El objetivo del presente estudio es evaluar la variación de la tasa de sedimentación en el Complejo Detrítico Superior del Delta del Llobregat a partir de nuevas dataciones y relacionar esta variación con los cambios eustáticos, climáticos y antrópicos.

Metodología

Se han datado mediante el método del ¹⁴C un total de 19 muestras del CDS, procedentes de nuevos sondeos del Delta del Llobregat. Fueron analizadas en el laboratorio Beta Analytic Inc. (Florida, EEUU) mediante AMS y radiocarbono. Las edades obtenidas han sido corregidas usando el programa INTCAL 98 (Stuvier *et al.*, 1998). Las muestras analizadas correspondientes al CDI han dado resultados que superan el rango de datación del método del ¹⁴C (Fig. 1 y Tabla I).

A las muestras de fragmentos de bivalvos se les ha corregido el efecto reservorio local que corresponde a 430±50 BP para materiales marinos (Stuvier *et al.*, 1977; Gupta *et al.*, 1985). La Tabla I y figura 1 recogen

todos los resultados e información referente a las dataciones.

A partir de estas dataciones se ha calculado el valor promedio de los intervalos temporales (años cal BP 2σ, Tabla I) y posteriormente se han obtenido los valores de la tasa de sedimentación a partir de la relación simple del espesor acumulado en un determinado intervalo temporal (Tabla II). Nótese que los valores de tasa de sedimentación también tienen un error asociado (asimétrico) derivado del error propio de las dataciones mediante ¹⁴C. Para el cálculo de las tasas de sedimentación sólo se han utilizado dataciones de muestras procedentes de los sondeos de la depuradora y el aeropuerto. Finalmente se decidió descartar las muestras de los sondeos de FON y FOC debido a la complejidad que presentan los márgenes del delta y su problemática correlación con los sondeos de la depuradora y el aeropuerto.

Resultados y Discusión

En la figura 2 se presentan las muestras analizadas según su profundidad y su edad calibrada (valor promedio, Tabla I)

con los intervalos de error asociados. Durante la sedimentación del CDS se observa una tendencia general de aumento progresivo en la tasa de sedimentación a partir de los 12180±60 años BP (14500±715 cal BP), representada por el cambio de la pendiente de la línea continua (Fig. 2). De hecho, durante el periodo comprendido entre 12180±60 años BP (14500±715 cal BP) y ~4100 años BP (4500 cal BP) la tasa de sedimentación es muy baja (menos de 1 mm/año), y es a partir de ~4100 años BP (4500 cal BP) cuando se observa un incremento significativo de la misma, alcanzando valores promedio de 12 a 25 mm/año (Fig. 2).

Dataciones mediante ¹⁴C realizadas en diversos deltas holocenos señalan que entre los ~18000 y 10000 años BP se produjo un rápido aumento del nivel del mar y una deceleración durante los ~8500 a 6500 años BP (Standely *et al.*, 1994). En particular, en el Delta del Ebro se produjo una rápida subida del nivel del mar entre los 10000 y 8800 años BP, depositándose sedimentos transgresivos. Posteriormente, una deceleración de la subida del nivel del mar entre los 8800 y 6900 años BP, acumulándose una cuña transgresiva agradacional. A esta cuña le sucede una progradación a partir de los 6150 años BP, con cinco pulsos deltaicos entre esta edad y los 1750 años AD (Somoza *et al.*, 1998). En los estuarios de SW de la Península Ibérica el máximo transgresivo se produjo a los 5700 BP (6500 cal BP) (Lario *et al.*, 2002).

La mayor diferencia entre el Delta del Llobregat y los ejemplos anteriores es en

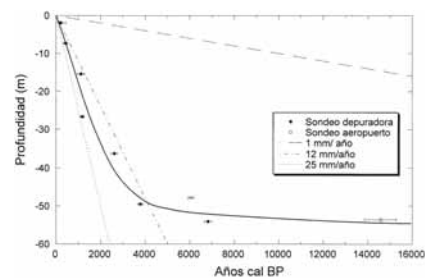


Fig. 2.- Relación entre la profundidad (respecto al nivel del mar actual) y el promedio del intervalo de la edad calibrada BP (datos en Tabla I). Las líneas rectas discontinuas representan tasas ficticias de sedimentación constante (1, 12 y 25 mm/años). La línea continua muestra la tendencia general de la tasa de sedimentación deducida para Pleistoceno superior y Holoceno del Delta del Llobregat.

Fig. 2.- Relationship between depth (corrected to the actual sea level) and average cal ¹⁴C dates (Table I). Dashed straight lines represent constant sedimentation rates (1, 12 and 25 mm/yr). The solid line shows the general sedimentation rate trend deduced for Late Pleistocene and Holocene of the Llobregat Delta.

el inicio de la acumulación de sedimento. En el Delta del Llobregat la sedimentación es significativa a partir de los ~4100 años BP (4500 cal BP), en vez de los ~6000 años BP cuando empieza la progradación en el Delta del Ebro y estuarios de SW de la Península Ibérica. Esta diferencia podría atribuirse a la falta de muestras datadas cerca de la cabecera del Delta del Llobregat o a efectos tectónicos locales al Delta del Llobregat.

La figura 3 muestra la variación de la tasa de sedimentación con sus errores asociados para el Delta del Llobregat (Tabla II). A partir de esos intervalos de error se ha trazado la envolvente máxima y mínima de la tasa de sedimentación. En la figura también se incluye la escala cronológica glacial y polínica (esta última relativa a la Península Ibérica, Costa *et al.*, 1998) y los períodos históricos en el área de Barcelona (Palet *et al.*, 1994; Riera *et al.*, 1994, 2004). En la figura se observa una tendencia general creciente de la tasa de sedimentación de los 12180±60 años BP (14500±715 cal BP) hasta ~1500 años BP (1500 cal BP), coherentemente con lo observado en la figura 2. Es importante observar que desde la Edad de Bronce (~4200 cal BP) hasta el período Íbero-romano (1620 cal BP: 350 AD) la tasa de sedimentación disminuyó ligeramente. También se observan dos máximos en la tasa de sedimentación, el primero en el período histórico desde los Visigodos (s. VI-VIII AD) hasta la Alta Edad Media (s. X-XIV AD), y el segundo durante la recuperación económica (s. XVIII AD).

Las primeras intervenciones humanas en el Pirineo catalán, donde nace el río Llobregat, se detectan aproximadamente entre los 6200 y 5600 años BP (7000 y 6300 cal BP), pero la intervención humana propiamente dicha empezó a los 4500 años BP (5200 cal BP), con una pequeña intensidad hacia los 3600 años BP (4000 cal BP) debido a la creación de pastos (Pèlach, 2004). Estudios polínicos y de yacimientos arqueológicos realizados en los alrededores del Delta del Llobregat muestran que las primeras acciones antrópicas se produjeron al Neolítico, coincidiendo con un breve evento de aridez ocurrido durante el periodo 7000 a 6500 años BP (7600 a 7400 cal BP) (Riera, 1994b). Hacia los 4500-4000 años BP (5300-4200 cal BP) se estableció en el área de Barcelona un clima mediterráneo similar al actual (Jalut *et al.*, 2000). Los registros polínicos obtenidos en el Delta del Llobregat revelan importantes cambios en la vegetación hacia los 4500 años BP (5200 cal BP) (Riera, 1994a), que coinciden con el tránsito polínico de Atlán-

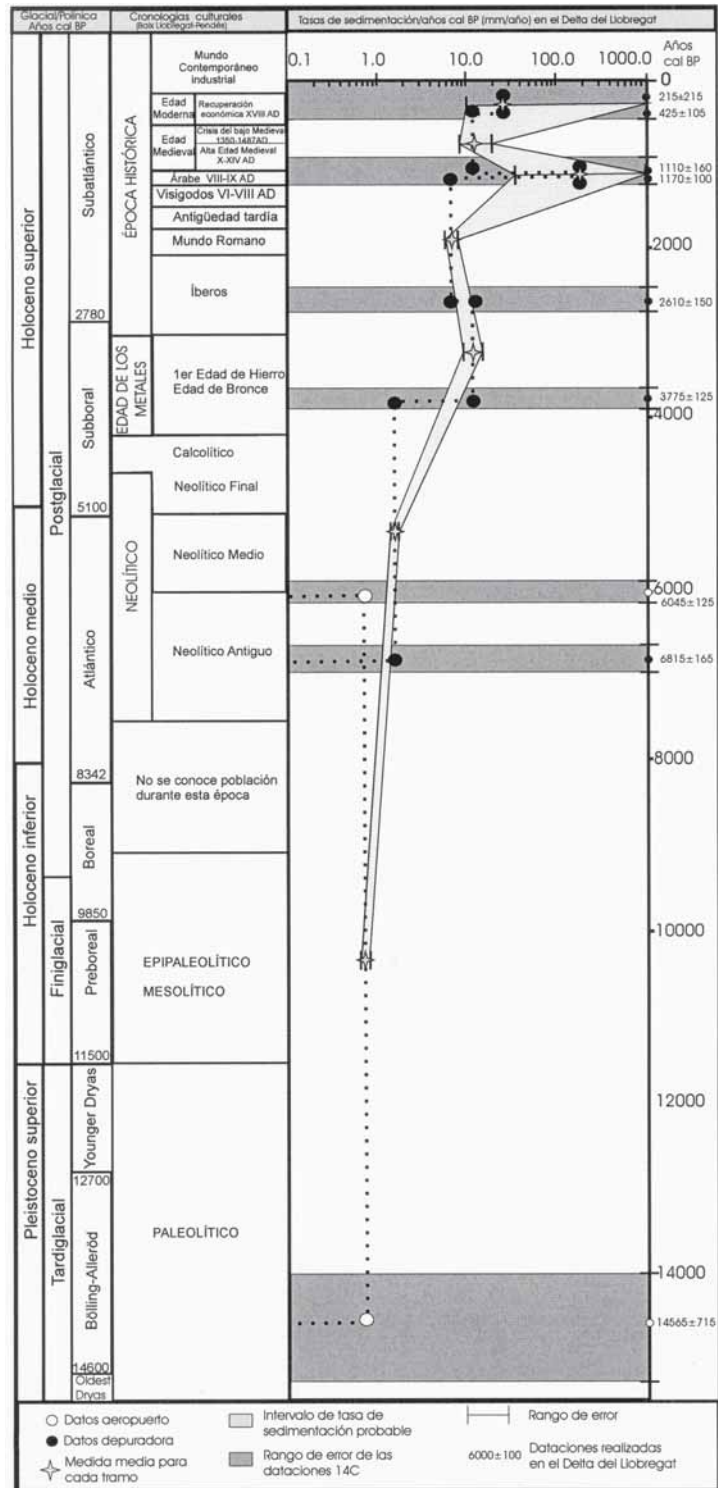


Fig. 3.- Variación de la tasa de sedimentación en el Delta del Llobregat. Se indica el error asociado a la datación ¹⁴C y a la tasa de sedimentación calculada (Tabla II). La representación del error de la tasa de sedimentación se ha realizado a partir del valor promedio en distintos intervalos temporales definidos por pares de muestras datadas (1998). En el eje vertical se incluye la escala cronológica glacial y polínica (Costa *et al.*, 1998), y los períodos históricos y prehistóricos (Palet *et al.*, 1994; Riera *et al.*, 1994; Riera *et al.*, 2004). Nótese que la representación de la tasa de sedimentación en la escala horizontal es logarítmica y ello acentúa las variaciones de la misma.

Fig. 3.- Variation of the sedimentation rate in the Llobregat Delta linked to Quaternary social and climatic events. Error associated to both, the ¹⁴C dating and calculated sedimentation rate is also included (Table II). Horizontal axis shows the sedimentation rate in logarithmic scale, accentuating the variations in the rate. Vertical axis includes the glacial, polinic chronological scale (Costa *et al.*, 1998) and Prehistoric and Historic events (Palet *et al.*, 1994; Riera *et al.*, 1994; Riera *et al.*, 2004).

Ubicación sondeo	Intervalo profundidad (m)*	Edad límite inferior (cal BP)	Edad límite superior (cal BP)	Tasa de sedimentación (mm/años)	Error Tasa negativo	Error Tasa positivo
depuradora	(1.90, 7.30)	425±105	215±215	25.71	-15.53	+∞
	(7.30, 15.40)	1110±160	425±105	11.82	-3.30	+7.46
	(15.40, 26.65)	1170±100	1110±160	187.50	-152.34	+∞
	(26.65, 36.20)	2610±150	1170±100	6.63	-0.98	+1.39
	(26.65, 49.50)	3775±125	2610±150	11.42	-2.18	+3.53
	(49.50, 54.10)	6815±165	3775±125	1.51	-0.13	+0.16
aeropuerto	(47.31, 53.56)	14565±715	6045±125	0.67	-0.06	+0.07

Tabla II.- Tasas de sedimentación promedio durante el Pleistoceno superior y Holoceno en el Delta del Llobregat. *: Distancia entre muestras, profundidades respecto al nivel del mar actual.

Table II.- Average sedimentation rates during the Late Pleistocene and Holocene in Llobregat Delta. *: Distance between samples, depth corrected to the actual sea level.

tico a Subboreal (Fig. 3). Estos cambios de clima, vegetación y primeras acciones antrópicas son coincidentes con el aumento en la tasa de sedimentación del delta a partir de los ~4100 años BP (4500 cal BP) (Figs. 2 y 3).

Por otra parte, durante el periodo Visigodo (s. VI-VIII) y hasta principios de la Alta Edad Media (s. X-XIV) se produce uno de los mayores aportes fluviales asociado a un proceso de erosión de las cuencas de drenaje que aportaron sedimento al Delta del Llobregat y el consecuente crecimiento del mismo (Palet *et al.*; 1994; Riera *et al.*, 1994 b). Esto puede relacionarse con un periodo de aridez ocurrido durante los 1300-1000 años BP (1300-750 cal BP) (Riera *et al.*, 2004; Jalut *et al.*, 2000) y con importantes deforestaciones de origen antrópico. En concreto, se ha descrito un periodo de intensa deforestación en distintas regiones del litoral catalán datado en los 1300 BP (s. VII-VIII: 1300 cal BP), asociado a una intensa actividad antrópica entre los años 1500 y 1300 BP (Palet *et al.*, 1994; Riera *et al.*, 1994). Este evento también se ha descrito en los Pirineos, entre los años 1478 y 1061 años BP (1497 a 1075 cal BP) (Pèlach, 2004). El periodo de aridez conjuntamente con la deforestación habría sido la causa de un masivo aporte de sedimento al Delta del Llobregat, y el consecuente incremento de su tasa de sedimentación (Fig. 3)

El otro momento de máxima tasa de sedimentación (Fig. 3) se produce a finales de la Edad Media e inicio de la recuperación económica durante el siglo XVIII. Estaría relacionado con la expansión socioeconómica debido a una nueva explotación del medio natural después de la recuperación de los bosques durante la crisis de la Baja Edad Media (1350-1487 AD) (Riera *et al.*, 2004; Pèlach, 2004)

Conclusiones

Las dataciones obtenidas en este estudio permiten realizar una curva de la tasa de sedimentación del Delta de Llobregat durante el final del Pleistoceno y el Holoceno, y comparar su tendencia general y oscilaciones puntuales con los cambios eustáticos, variaciones climáticas y acciones antrópicas sobre la vegetación.

Se puede concluir que desde finales del Pleistoceno hasta inicios del Holoceno Superior la tasa de sedimentación del delta fue muy baja debido a una rápida subida del nivel del mar, incrementándose a partir de ~4100 BP (4500 cal BP). Con los datos disponibles no se reconoce el máximo transgresivo descrito en el Delta del Ebro y estuarios del SW de la Península Ibérica entre 6000 y 6900 BP. La curva de la tasa de sedimentación refleja dos momentos de mayor incremento, producidos el primero durante el periodo Visigodo (s. VI-VIII años AD) hasta la Alta Edad Media (s. X-XIV AD), y el segundo durante la recuperación económica (s. XVIII). Estos incrementos se correlacionan con momentos de mayor presión antrópica y eventos de aridez descritos en la bibliografía.

Agradecimientos

Se agradece la contribución económica de la Agència Catalana del Agua (Generalitat de Catalunya), AENA, GISA (Generalitat de Catalunya), y el proyecto SALTRANS (UE-EVK1-2000-00692), así como el acceso a los sondeos de la depuradora de Aguas del Prat de Llobregat. También al grupo del Neógeno del Dept. de Geociencias Marinas, Estratigrafía y Paleontología de la Facultad de Geología (Univ. de Barcelona). De gran interés científico han sido las discusiones mante-

nidas con Santiago Riera del Dept. de Prehistoria, Historia antigua y Arqueología. (Univ. de Barcelona) y Ramón Julià del Instituto de Ciencias de la Tierra «Jaume Almera» (CSIC).

Referencias

- Gupta, S.K. y Polach, H.A. (1985). *Radiocarbon Dating Practices at ANU Handbook Radiocarbon Laboratory Research School of Pacific Studies*. ANU, Canberra, 114 p.
- Izquierdo, P. (1992). *Memoria d'Intervencions Arqueològiques a Catalunya*, 1, 9-19
- Jalut, G., Esteban Amat, A., Bonnet, L., Gauquelin, T., y Fontugne, M. (2000). *Palaeo*, 160, 255-290.
- Lario, J., Zazo, C., Goy, J.L., Dabrio, C.J., Borja, F., Silva, F., Sierro, P.G., González, A., Soler, V., y Yll E. (2002). *Quaternary International*, 93-94, 171-176
- Marqués, M.A. (1984). *Les formacions quaternàries del Delta del Llobregat*. Editorial Institut d'Estudis Catalans (Barcelona), 208.
- Palet, J.M. y Riera, S. (1994). *Archeologia Medievale*, XXI, 517-540.
- Pèlach, A. (2004). *Deu mil anys de geohistoria ambiental al Pirineu Central Català*. Tesis Doctoral. Univ. Autònoma de Barcelona, 341 p.
- Riera, S. (1994a). *Anàlisi pol.línica de les Mines de Can Tintorer: Evolució del paisatge vegetal al sector sud de la Plana Barcelona durant el Neolític Mitjà*. Inédito.
- Riera, S. (1994b). *Rubricatum*, 0, 195-213
- Riera, S. y Esteban-Amat, A. (1994). *Veget Hist Archaeobot*, 3, 7-23
- Riera, S., Wansard, R. y Julià, R. (2004). *Catena*, 55, 293-324
- Simó, J.A., Gàmez, D., Salvany, J.M., Vázquez-Suñé, E., Carrera, J., Barnolas, A., y Alcalà, F.J. (2005) (este volumen)
- Standely, D.J. y Warne A.G. (1994). *Science*, 262, 228-231
- Stuvier, M. y Polach, H.A. (1977). *Radiocarbon*, 19, 355-362
- Stuiver M., P.J. Reimer, E. Bard, J.W. Beck, G.S. Burr, K.A. Hughen, B. Kromer, G. McCormac, J. van der Plicht y M. Spurk (1998). *Radiocarbon*, 40, 1041-1083
- Somoza, L., Barnolas, A., Arasa, A., Maestro, A., Rees, J.G. y Hernandez-Molina, F.J. (1998). *Sedimentary Geology*, 117, 11-32
- Talma, A. y Vogel, J.C., (1993). *Radiocarbon*, 35, 317-322